

## Tutorat de mécanique des fluides : Commotions cérébrales et bulles de cavitation

Les commotions cérébrales sont de plus en plus fréquentes en sport (rugby, boxe, hockey, football américain...). Les joueurs subissent des chocs violents à la tête avec des accélérations de l'ordre de 50g ( $500\text{m/s}^2$ ). Les mécanismes de dégradation du cerveau sont encore mal compris et l'hypothèse que nous allons développer dans ce sujet est l'apparition de bulles de cavitation dans le liquide cérébro-spinal entourant le cerveau.



### 1 - L'instant manip

Remplissez d'eau un tube à essai/une bouteille en verre (ou en plastique rigide). Frappez le haut du récipient avec un maillet de plus en plus fort, jusqu'à qu'il se casse. Notez vos observations : où se casse le récipient ? qu'est-ce que vous entendez ?

Recommencez en faisant varier la hauteur d'eau dans le récipient. Comment varie la force avec laquelle il faut le frapper pour le casser ?

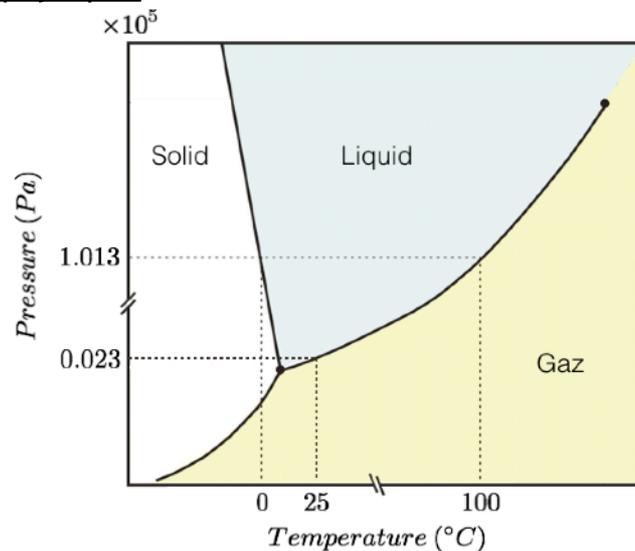


Si vous pouviez filmer votre expérience avec une caméra rapide, vous obtiendriez une vidéo comme celle qui est fournie (**ballon\_cassé.avi**). Décrivez ce que vous observez sur cette vidéo.

Dans la suite du tutorat, nous allons essayer de comprendre et de quantifier ce qui se passe dans le récipient lors de l'impact.

## 2 - Pression dans le tube et apparition des bulles

### a - Les ingrédients physiques



Le diagramme pression-température de l'eau est représenté ci-dessus. Où se trouve-t-on dans ce diagramme : avant l'impact ? au moment où les bulles apparaissent ? Expliquer ce qu'est le phénomène de cavitation.

En considérant l'écoulement comme potentiel et en écrivant l'équation de Bernoulli instationnaire dans le tube, déterminer comment varie la pression dans le liquide en fonction de la hauteur  $P(z)$  au moment de l'impact où l'accélération est maximale et vaut  $a_{\max}$  ? En particulier, que vaut la pression au fond du tube ?

### b - Les données quantitatives

Dans le fichier **pression\_acceleration.xlsx**, sont rassemblés les résultats d'expériences visant à mesurer la variation de pression au fond du tube en fonction de l'accélération maximale lors du choc, pour différentes hauteurs de liquide. Représenter ces données sur une courbe qui permet de vérifier la loi physique trouvée précédemment. Déterminer l'accélération critique d'un choc à partir de laquelle on observe des bulles de cavitation. Que vaut-elle dans le cas de la tête d'un sportif si on la considère comme remplie de liquide ?

## 3 - Croissance des bulles de cavitation

### a - Les ingrédients physiques

Les dégâts provoqués lors de l'effondrement des bulles de cavitation sont proportionnels à leur taille. On s'intéresse donc à la croissance des bulles en fonction de la pression imposée dans le liquide. Si on considère une bulle de rayon  $R$  dans un milieu infini rempli d'eau, quels sont les différents effets physiques qui régissent l'évolution de la taille de la bulle ?

On utilise l'équation de Rayleigh-Plesset ci-dessous pour décrire cette évolution :

$$\ddot{R} = \frac{\Delta p}{\rho R} - \frac{3}{2} \frac{\dot{R}^2}{R} - \frac{4\nu}{R^2} \dot{R} - \frac{2S}{\rho R^2}$$

où  $\rho, \nu, S$  sont respectivement la masse volumique, la viscosité cinématique et la tension de surface du liquide.

Préciser à quoi correspond physiquement chaque terme de l'équation de Rayleigh-Plesset.

### b - Les données quantitatives

La vidéo **bulle1.avi** représente la croissance d'une bulle de cavitation lors de l'impact d'une cuve remplie d'eau. Mesurer le rayon de la grosse bulle au cours du temps sur cette vidéo. Vous pouvez vous limiter à une image sur cinq ou sur 10). L'échelle de calibration est donnée par l'image **Echelle\_bulle.png** et le pas de temps entre deux images est de 1/20000s.

Tracer l'évolution du rayon R en fonction du temps t.

Superposer à cette courbe l'évolution de la pression au cours du temps au bas du récipient, donnée dans le fichier **pression\_bulle.xlsx**.

Intégrer numériquement l'équation de Rayleigh-Plesset pour retrouver la forme de R(t). Comparer et commenter.